



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Kristjan Pihlo

KALLURHAAGISE PROJEKT

DUMPER TRAILER PROJECT

Magistritöö
Tootmistehnika õppekava

Juhendaja: lektor Aare Aan, *Phd*

Tartu 2018

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Kristjan Pihlo		Õppekava: Tootmistehnika	
Pealkiri: Kallurhaagise projekt			
Lehekülgi: 56	Jooniseid: 23	Tabeleid: 10	Lisasid: 4
Osakond: Biomajandustehnoloogiate õppetool Uurimisvaldkond: T280 Maanteetransporditehnoloogia Juhendaja: Aare Aan Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2018			
<p>Antud magistritöö käigus projekteeriti ja konstrueeriti Powersteel OÜ tarbeks kallurhaagis, mis on mõeldud esimeseks selletaoliseks haagiseks ettevõtte tootesarjas. Töö tervikuna on jaotatud kuueks peatükiks, kus esimeses peatükis uuriti Eesti seadusandlust, mis tehnonõutele pidi haagis vastama ning tutvustati ettevõtte tehnoloogilisi võimalusi, millega tuli projekteerimisel arvestada. Teises peatükis uuriti juba turul olevaid haagiseid ning koostati võrdlev tabel. Kolmandas peatükis teostati mitmeid konstruktsiooniarvutusi, millega dimensioneeriti kallurhaagis. Neljandas peatükis anti ülevaade haagise hüdroüsteemist ning viiendas peatükis olid välja toodud haagise ohutuse jaoks projekteeritud lisaseadmeid. Viimases peatükis arvutati haagise maksumus. Haagisele projekteeriti uudne ja omanäoline kahesuunaline hübriidlahendusega tagaluuk. Töö lisades on välja toodud pidurite skeem, põhikoostujoonis, 3D fotorealistic plakat ja pidurite arvutuse tulemused.</p>			
Märksõnad: Kallurhaagis, tagaluuk, hübriid			

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Kristjan Pihlo		Speciality: Engineering	
Title: Dumper trailer project			
Pages: 56	Figures: 23	Tables: 10	Appendixes: 4
Department: Chair of Biosystems Engineering Field of research: T280 Road transport technology Supervisor: Aare Aan Place and date: Tartu 2018			
In this thesis there was projected and constructed a dumper trailer for OÜ Powersteel, to be the first product in this product family. The thesis is in six bigger chapter, where in the first chapter there were searched for Estonian law of which technical requirements trailer has to have. In the second chapter there were presented a field search where all the other dump trailer products were compared. In the third chapter there were made construction calculation for dimensioning the trailer. In the forth chapter there was introduced the hydraulic system what trailer was projected and in the fifth chapter there were introduced the additional equipment for safety. In the last chapter there were calculated the cost of this trailer. There was projected very unique two-way hybrid tailgate. In the appendixes of this work there is brake scheme, assembly drawing, 3D rendered poster and results of braking calculations.			
Keywords: dumper trailer, tailgate, hybrid.			

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE	2
ABSTRACT	3
TÄHISED	6
SISSEJUHATUS	7
1. PROJEKTEERITAVA MASINA LÄHTEÜLESANNE	9
1.1. Vastavus Eestis kehtivatele seadusandlustele	9
1.2. Haagise maht ja mõõdud	10
1.3. Tehnoloogilised võimalused	11
2. TURU-UURING	12
2.1. Palmse haagised	12
2.1.1. Palmse haagis PT1000	12
2.1.2. Palmse haagis PT1000IS	13
2.1.3. Palmse haagis PT1011	13
2.2. Kire 100 haagis	14
2.3. Humus 10CT haagis	15
2.4. Ferrel 125 A	16
2.5. Masinate võrdlev kokkuvõte	16
2.6. Projekteeriava masina nõuded.	18
3. KONSTRUKTSIOONI ARVUTUSED	19
3.1. Haagise raamitoru arvutus	19
3.2. Balansiiri toru arvutus	22
3.3. Tõstesilindri arvutus	24
3.4. Kasti toruraami arvutus	27
3.5. Kallutustelje arvutus lõikele	29
3.6. Projekteeritav tagaluuk	31
3.7. Tagaluugi silindri arvutus	34
3.8. Tagaluugi toru arvutus	36
3.9. Tagaluugi lukustamine	37
4. HÜDROSÜSTEEM	38
4.1. Tõstesilindri maksimaalse vooluhulga arvutus	38
4.1.1. Tõstesilindri vooliku valik	39

4.2. Tagaluugi silindrite maksimaalse vooluhulga arvutus.....	40
4.3. Hüdrosüsteemi skeem	42
5. HAAGISE OHUTUS	44
6. MAJANDUSLIKUD KULUD	47
KOKKUVÕTE	48
KASUTATUD KIRJANDUS	49
DUMPER TRAILER PROJECT	50
LISAD	Error! Bookmark not defined.
Lisa A. Piduriskeem	Error! Bookmark not defined.
Lisa B. 3D Fotorealismlik plakat.....	Error! Bookmark not defined.
Lisa C. Tootja pidurite arvutus	Error! Bookmark not defined.
Lisa D. Põhikoostujoonis.....	Error! Bookmark not defined.

TÄHISED

ρ_i	- Kruusa-, killustiku-, mulla- ja liiva tihedus;
σ_{lim}	- Materjali piirpinge, MPa;
$[S]$	- Varutegur;
$[\sigma]$	- Lubatud pinge, MPa;
a	- Raskuskiirendus, m/s ² ;
$A_1; A_2; A_3$	- Ristlõige, mm ² ;
$F_1; F_2$	- Koondatud jõud, N;
F_3	- Jaotatud jõud, N/m;
F_S	- Tõstesilindri poolt tekitatav jõud, N;
F_{S1}	- Jõud tagaluugi tõstmiseks, N;
F_V	- Tõstesilindri poolt tekitatav vertikaalsihiline jõud, N;
G	- Kasti omakaalu ja kandevõime poolt tekitatud moment silindrile, Nm;
G_1	- Tagaluugi poolt tekitatav moment, Nm;
l_1	- Kallutustelje kaugus massikeskmeni, m;
l_2	- Jõuõlg kallutusteljeni, m;
l_3	- Pöördtelje kaugus massikeskmeni, m;
l_4	- Jõuõlg pöördteljeni, m;
m_1	- Kandevõime, kg;
m_2	- Kasti mass, kg;
m_3	- Tagaluugi mass, kg;
M_E	- Paindemoment punktis E, N;
p	- Töörõhk, N/mm ² ;
$Q_1; Q_2; Q_3$	- Vooluhulk, mis läbi ristlõiget, m ³ /s;
$R_a; R_c; R_f; R_g; R_h; R_j$	- Toereaktsioonid, N;
$t_1; t_2$	- Aeg hüdrosilindri avamiseks, s.
V	- Kasti ruumala, m ³ ;
$V_1; V_2$	- Silindrite ruumalad, l;
v_s	- Tihendile maksimum kiirus, m/s;
W_x	- Vastupanumoment, cm ³ ;

SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö eesmärk on projekteerida ja konstrueerida kallurhaagis, mis on mõeldud OÜ Powersteel esimeseks omanimeliseks tooteks kallurhaagiste tootesarjas. Ettevõtte on rohkem kui kaheksateist aastat tootnud erinevaid põllumajandus- ja metsandusmasinaid, mis on kõik olnud eritellimustööd ning toodetud vastavalt kliendi soovide järgi. Tänapäeval on ettevõttel soov hakata lisaks allhanke töödele tootma ka omatoodangut. Eesmärgist lähtuvalt tuli lahendada järgmised ülesanded:

- 1) uurida Eesti seadusandlust, kus on kirjas masina tehnonõuded;
- 2) teostada turu-uuring;
- 3) lähteülesande piiritlemine (kandevõime, mõõdud, lisaseadmed, tehniline lahendus);
- 4) konstruktsiooniarvutused;
- 5) hüdroüsteemi koostamine;
- 6) müügihinna määramine;
- 7) koostada tehnilised joonised.

Antud magistritöö on jaotatud kuueks peatükiks järgmiselt: esimeses peatükis uuritakse millistele tehnonõutele peab haagis vastama, et seda oleks võimalik Eesti maanteeameti registris arvele võtta. Ühtlasi valitakse haagise esmased parameetrid ning seatakse tehnoloogilised võimalused haagise projekteerimisele lähtuvalt ettevõtte tootmisvõimalustele.

Teises peatükis teostatakse turu-uuring juba Eesti turul valmistavatest kallurhaagistest. Selles peatükis tuuakse välja teiste tootjate haagiste põhilised tehnilised näitajad ning teostatakse võrdlus, mille järel töö autor analüüsib haagiste lahenduste erinevusi. Peatüki lõpus esitatakse ideid projekteeritavale masinale.

Kolmandas peatükis teostatakse masina põhikonstruktsiooni tugevusarvutused – arvutused raamitorule, kastitorule, balansiiridele, kallutustelje arvutus lõikele ning teostatakse tõstesilindri valik ja arvutus. Ning ühtlasi keskendutatakse tagaluugi ehitusele ja selle

tööpõhimõttele. Arvutatakse vajalik tagaluugi konstruktsiooni toru ning valitakse ja arvutatakse hüdrosilindrid tagaluugi avamiseks.

Neljandas peatükis kirjeldatakse haagise hüdroüsteemi ning kõiki sinna kuuluvaid ohutust tagavaid komponente.

Viiendas peatükis tuuakse välja haagise ohutusega kaasnevad varustused, mis on ühtlasi ka nõutud tulenevalt Eesti seadustest.

Kuuendas peatükis on arvutatud projekteeritava kallurhaagise maksumus. Ning on määratud haagise müügihind, et võrrelda seda teiste tootjatega.

Töö lisades on toodud kallurhaagise põhikoostu joonis, pidurite skeem, tootjapoolne pidurite arvutus ja 3D fotorealistlik plakat. Töö lisades ei ole esitatud haagise tehnilised keevisjoonised ja detailjoonised, kuna need on üksnes ettevõtte siseseks kasutamiseks.

1. PROJEKTEERITAVA MASINA LÄHTEÜLESANNE

1.1. Vastavus Eestis kehtivatele seadusandlustele

Vastavalt Eestis kehtivale seadusele „Ratastraktori, liikurmasina ja nende haagiste tehnoseisundi kontrollimise eeskiri ning nende tehnoseisundile ja varustusele esitatavad nõuded“, peab projekteeritav haagis vastama järgnevatele nõutele, selleks et masinat oleks Eesti maanteameti reigistris võimalik arvele võtta [1]:

- 1) Masinal peab olema vähemalt kaks tõkiskinga;
- 2) Aeglase sõiduki tunnusmärk;
- 3) Tagumised ääretule laternad ei tohi olla madalamal kui 400 mm ja kõrgemal kui 1900 mm maapinnast;
- 4) Piduritule laternad ei tohi olla madalamal kui 250 mm ja kõrgemal kui 1900 mm maapinnast;
- 5) Suunatud ei tohi olla madalamal kui 250 mm ja kõrgemal kui 1900 mm maapinnast;
- 6) Haagisel peavad ees olema mittekolmnurksed helkurid ja nende värvus peab olema merevaigukollane;
- 7) Külgmised helkurid peavad olema mittekolmnurkse kujuga ja nende värvus peab olema merevaigu kollane;
- 8) Haagisel peab olema kaks tagumist helkurit, need peavad olema võrdkülgse kolmnurga kujulised, mille tipp on suunatud üles ning nende värvus peab olema punane. Kolmnurga külje pikkus peab olema 150 – 200 mm;
- 9) Eesmised ja tagumised helkurid ei tohi olla madalamal kui 250 mm ja kõrgemal kui 900 mm maapinnast. Külgmised helkurid ei tohi olla madalamal kui 400 mm ja kõrgemal kui 900 mm maapinnast;
- 10) Kõikide haagiste haakeseadmed peavad olema dubleeritud julgestusketi- või trossiga;
- 11) Kallurhaagise veokastil peab olema tugi või muu mehaaniline seade, mis võimaldab töötada või hooldada kallurit tõstetud veokasti all. Kui tugi või seade ei ole ette nähtud vastu pidama koormatud veokasti survele, st selle toega võib

teostada ainult koormata veokasti, peab kerel/raamil olema nähtavas kohas sellekohane hoiatussilt;

- 12) Ükski teepinnast kuni 2 m kõrgusel asuv veokasti osa ei tohi haagise külgpinnast välja ulatuda rohkem kui 50 mm;
- 13) Ratastraktorit või liikurmasinat ning haagist ühendavate juhtmete pistikud ja pistikupesad peavad olema 6 V ja 12 V nimipingega elektrisüsteemi puhul „tüüp 12N“ nõutele vastavad ja 24 V nimipingega elektrisüsteemi puhul „tüüp 24N“ nõutele vastavad;
- 14) Haagise tagumise allasõidutõkke kõrgus teepinnast tõkke alumise servani ei tohi olla üle 550 mm ja laius suurem tagasilla laiusest. Kaugus tõkke otsast kuni haagise külggabariidini ei tohi olla suurem kui 100 mm. Tõkke ei tohi asetseda haagise tagaosast esiosa suunas kaugemal kui 450 mm. Tõkke profiili vähim laius on 100 mm ja profiili otsad ei tohi olla tahapoole pööratud;
- 15) Haagise suurim lubatud laius on 2,55 [1].

Antud punkte võetakse arvesse edasisel projekteerimisel.

1.2. Haagise maht ja mõõdud

Esimene ettevõtte tootesarja projekteeritav kallurhaagis saab olema 10 tonnise kandevõimega, kuna sellise tüübi nõudlus on olnud kõige suurem. Kuna projekteeritav kallurhaagis on ette nähtud vedama erinevaid pinnasematerjale (samuti ka ehitusmasinaid objektile veoks), siis järgnevas tabelis on välja toodud erinevate pinnasematerjalide tihedused ja sellest tulenevalt ka võimalik kasti maht kandmaks 10 tonnist koormat (tabel 1.1.). Materjalide tihedused on välja toodud vahemikuna, kuna mitmel juhul oleneb tihedus aine fraktsioonist. Mahu arvutamisel arvestati maksimaalse tihedusega [2].

Kasti võimalik maht on arvutatud valemiga:

$$V = \frac{m_1}{\rho_i} \quad (1.1)$$

kus V on kallurkasti ruumala, m^3 ;

m_l on kandevõime, kg;

ρ_i on vastavalt kruusa-, killustiku-, mulla-, liiva tihedus.

Tabel 1.1. Kallurkasti võimalik maht sõltuvalt pinnasematerjalist [2]

Materjal	Mass 1 m ³ kohta, t	Kasti võimalik maht V, m ³
Kruus	1700 ... 1900 kg/m ³	5,263 m ³
Killustik	1300 ... 1800 kg/m ³	5,556 m ³
Liiv	1500 ... 1600 kg/m ³	6,25 m ³
Muld	1700 ... 1900 kg/m ³	5,263 m ³

Projekteeritav kallurhaagis, mille kandevõime on 10 tonni, võib mahutada maksimaalselt 5,263 m³, arvestades kruusa maksimaalset tihedust. Muud strateegilised mõõdud on järgmised (laiuse puhul arvestatakse et maksimaalne laius ei tohi ületada 2,55 m) -

- 1) sisepikkus – 3850 mm;
- 2) sisekõrgus – 600 mm;
- 3) siselaius – 2300 mm.

1.3. Tehnoloogilised võimalused

Kuna kallurhaagis valmistatakse Powersteel OÜ-s, siis selles jaotises on välja toodud ettevõtte tehnoloogilised võimalused, mida tuleb projekteerimisel arvesse võtta:

- 1) Plasmalõikuspink, millega on võimalik lõigata kuni 30 mm paksust lehtmaterjali, formaadis 2500 x 6000 mm;
- 2) Painutuspink 400 tonnise survejõuga, paindepikkusega kuni 6100 mm (võimalik painutada 8 mm hardox lehte);
- 3) MIG/MAG keevitus;
- 4) Treimine ja freesimine;
- 5) 12x4x6 m liivapritsi kamber;
- 6) 12x4x6 m värvikamber.

2. TURU-UURING

Eestis toodetavate traktori kallurhaagiste leidmiseks kasutati interneti otsingumootorit ning kasutades märksõna „Eesti kallurhaagised“ ja „Eestis toodetavad kallurhaagised“ leiti mõned Eesti ettevõtted, kes toodavad kõnealuseid kallurhaagiseid. Järgnevates jaotistes kirjeldatakse antud haagiseid.

2.1. Palmse haagised

Palmse Metall OÜ on Lääne-Virumaal tegutsev suur metallitöö ettevõte, kes alustas haagiste tootmisega 2005. aastal. Palmse metalli tootevalikust leiab ka mitmeid teisi tooteid nagu platvormhaagiseid, viljaveohaagiseid, loomaveohaagiseid, multilift konteinerhaagiseid ja masinatreilereid. Kõige suurema tootegrupi moodustavad seejuures ikkagi kallurhaagised. Kallutava haagise eelis teiste haagisetüüpide ees on universaalsus. Kuna Palmsel on pakkuda kolm 10 tonnise kandevõimega haagist, siis järgnevates jaotistes on neid kõiki kirjeldatud [4].

2.1.1. Palmse haagis PT1000

Palmse haagis PT1000 on 10 t kandevõimega kallurhaagis (joonis 2.1.). Antud haagise tehnilised näitajad on esitatud tabelis 2.1. Sellele haagisele on võimalik külge panna portekõrgendused, mis teeks haagise mahuks 13,3 m³.



Joonis 2.1. Palmse PT1000 haagis [4].

Tabel 2.1. Palmse haagise PT1000 põhilised parameetrilised näitajad [4]

Toode	Maht, m ³	Tühimass, kg	Kallutusnurk, °	Sisemõõdud, mm (P x L x K)
Palmse PT1000	6,9	2350	52	3970 x 2310 x 750

Nii Palmse PT1000 kui ka PT1000IS haagiste standardvarustuses on mehaaniline kaheasuuniline tagaluuk, mis avaneb pendlina üles ning uksena küljele.

2.1.2. Palmse haagis PT1000IS

Palmse haagis PT1000IS on 10 t kandevõimega kallurhaagis. Antud haagise tehnilised näitajad on esitatud tabelis 2.2.

Tabel 2.2. Palmse haagise PT1000IS põhilised parameetrilised näitajad [4]

Toode	Maht, m ³	Tühimass, kg	Kallutusnurk, °	Sisemõõdud, mm (P x L x K)
Palmse PT1000IS	6,6	2505	52	3970 x 2380 x 700

Kui PT1000 oli võimalik külge panna portekõrgendusi, siis selle haagise mudelil portekõrgenduste lisamise varianti ei ole. Lisaks on PT1000IS haagis 50 mm madalam ja mahutab 0,3 m³ vähem, kuid see-eest on 70 mm laiem, mis tähendab, et haagisele saab sõita laiema gabariidiga ehitusmasin.

2.1.3. Palmse haagis PT1011

Palmse haagis PT1011 on 10 t kandevõimega kallurhaagis. Antud haagise tehnilised näitajad on esitatud tabelis 2.3.

Tabel 2.3. Palmse haagise PT1011 põhilised parameetrilised näitajad [4]

Toode	Maht, m ³	Tühimass, kg	Kallutusnurk, °	Sisemõõdud, mm (P x L x K)
Palmse PT1011	11	2200	-	3680 x 2080 x 1450

Palmse 10 t haagiste mudelitest kõige kergema kaaluga ning kõige suurema mahutavusega. Kuna haagis on nii suure mahutavusega, siis võib eeldada, et see ei ole ette nähtud pinnasmaterjali veoks, vaid kergema kaaluga materjalide veoks – näiteks vili jms. Sellele viitab ka see, et haagisel on tendikonksud tendi kinnitamiseks.

2.2. Kire 100 haagis

Kire 100 haagis on 10 t kandevõimega kallurhaagis (joonis 2.2). Antud haagise tehnilised näitajad on esitatud tabelis 2.4.

Tabel 2.4. Kire 100 põhilised parameetrilised näitajad [5]

Toode	Maht, m ³	Tühimass, kg	Kallutusnurk, °	Sisemõõdud, mm (P x L x K)
Kire 100	5,2	2230	53	4000 x 2200 x 600

Antud haagisele on võimalik külge monteerida portekõrgendused, mis teevad haagise mahuks 9,5 m³. Standardlahenduses on tagaluuk avatav hüdrauliliselt.



Joonis 2.2. Kire 100 Haagis [5].

2.3. Humus 10CT haagis

Humus on Paides asuv ettevõtte, kes toodab erinevaid masinaid nii põllumajandus – kui ka ehitussektorile – kallurhaagised, heedrihaagised, heinarullihaagised, loomaveohaagised, mahutihaagised ning haaratseid [6].

Humus 10CT on pinnasematerjali veoks mõeldud kallurhaagis, mille kast on väga vastupidav ja tugev ning standardlahenduses on kast valmistatud ühest parimast kulumiskindlast terasest – hardoxist. Kastiga on lihtne vedada tehnikat, sest kasti on disainitud kuus koormakinnituskohta sisse ja kuus välja [6]. Haagise tehnilised näitajad on esitatud tabelis 2.5.

Tabel 2.5. Humus 10CT põhilised parameetrilised näitajad [6]

Toode	Maht, m ³	Tühimass, kg	Kallutusnurk, °	Sisemõõdud, mm (P x L x K)
Humus 10CT	4,6	2800	50	3850 x 2500 x 500

Kõrgendustega on kasti mahutavus 14 m³. Hüdrauliliste piduritega on varustatud kõik neli ratast. Standardlahendusena on tagaluuk mehaaniliselt avatav nii uksena küljele kui ka pendlina üles [6].

2.4. Ferrel 125 A

Ferrel AS on Lääne-Virumaal tegutsev ettevõtte, mis tegeleb põllumajandushaagiste tootmisega. Ettevõtte algusaastatel oli ettevõtte tegevusalaks metallkonstruktsioonide valmistamine ja all-hanke tööde tegemine, kelle klientideks olid enamasti Kire, Palmse trailer, Palms ja Farmi Forest. 2009. aastal alustasid omatoodangu valmistamisega ning peamised turualad on Skandinaavia ja Soome [7].

Ferrel 125 A tehnilised näitajad on toodud tabelis 2.6.

Tabel 2.6. Ferrel 125 A põhilised parameetrilised näitajad [7]

Toode	Maht, m ³	Tühimass, kg	Kallutusnurk, °	Sisemõõdud, mm (P x L x K)
Ferrel 125 A	5,5	3100	55	4000 x 2310 x 600

Haagise tagaluuki on võimalik tellida nii mehaaniliselt avatava kui ka hüdraulilise silindriga [7].

2.5. Masinate võrdlev kokkuvõte

Allolevas peatükis on koondatud kõikide tootjate haagiste põhilised tehnilised parameetrid ning on antud hinnang nii puudustele kui ka eelistele (tabel 2.7).

Tabel 2.7. Erinevate tootjate kallurhaagiste tehniliste parameetrite võrdlev tabel

Tootja, haagise mudel	Maht, m ³	Tühimass, kg	Sisemõõdud, mm (P x L x K)	Kallutusnurk, °	Tagaluuk	Hind, € + km
Palmse, PT1000	6,9	2350	3970 x 2310 x 750	52	Hüdrauliline	7500
					Mehaaniline	7200
Palmse, PT1000IS	6,6	2505	3970 x 2380 x 700	52	Hüdrauliline	7800
					Mehaaniline	7500
Palmse, PT1011	11	2200	3680 x 2080 x 1450	-	Hüdrauliline	7250
					Mehaaniline	6950
Kiretec, Kire 100	5,2	2230	4000 x 2200 x 600	53	Hüdrauliline	7350
					-	-
Humus, 10CT	4,6	2800	3850 x 2400 x 500	50	Hüdrauliline	9949
					Mehaaniline	10 532
Ferrel, 125 A	5,5	3100	4000 x 2310 x 600	55	Hüdrauliline	8500
					-	-

Peatükis 1.2 arvatati optimaalne kallurhaagise kasti maht 10 t kandevõimele, mis kannaks kõige tihedama fraktsiooniga killustikku (min 5,2 m³). Palmse haagised on mahult küll suuremad, kuid tekib küsimus, kuidas kontrollitakse veetava materjali kogust, et see ei ületaks kandevõimet. Ilmselt Palmse PT1011 on mõeldud üksnes kergema pinnasematerjali veoks või siis vilja vms veoks.

Massi poolest on Humuse ja Ferreli haagised põhjendamatult suure massiga, ehkki nende mahutavus ei ole nii suur kui näiteks Palmse haagistel. Mida suurema massiga on haagise täismass, seda võimsamat traktorit on vaja.

Kasti mõõtude poolest on kõige laiema sisemõõduga Humuse haagis, mis on hea, kui vedada haagise kastis ehitusmasinaid. Laiem siselaius tähendab, et peale saab sõita laiema gabariitmõõtudega ehitusmasin. Kõigi võrreldavate haagiste kallutusnurgad on põhimõtteliselt samad. Kõikide tootjate haagised on ehitatud „kiikuvatele“ tandem telgedele.

Haagiste tagaluugid on enamasti standardis mehaanilised, kuid enamus tootjad pakuvad ka lisavarustusena hüdraulilist tagaluuki. Nii mehaanilisel kui ka hüdraulilisel tagaluugil on omad eelised ja puudused. Mehaaniline tagaluuk avaneb nii pendlina üles (materjali mahalaadimiseks), kui ka uksena küljele (samuti materjali mahalaadimiseks, kuid ka ehitusmasinate pealesõiduks). Sellise lahenduse eelis on kasutamise funktsionaalsus, kuid

puuduseks võib pidada ohutust, kuna avamiseks peab juht väljuma kabiinist ning minema haagise taha seda avama.

Hüdraulilise tagaluugi eeliseks on selle kasutamise mugavus – tagaluuki on võimalik avada juhi kabiinist. Sellise lahenduse puuduseks võib pidada, et veetavale materjalile või seadmele seatakse parameetrilised piirangud, mis tähendab, et ekskavaator või mõni muu ehitusmasin ei saa haagise kastile sõita. Selline vajadus võib esineda tihti, näiteks kui objektile on vajalik vedada ka ekskavaator või mõni teine ehitusmasin, hoides selliselt kokku transpordikuludelt.

Hinna poolest, oli kõige odavam Palmse PT1011 mehaanilise tagaluugiga haagis (6950 € - 2018 a.), ning kõige kallim Humus 10 CT hüdroluugiga haagis (10 532 € - 2018 a.). Tootjatelt küsiti ka, kas oleks võimalik toota ka hübriidlahendusega tagaluuk (mehaaniline + hüdrauliline), kuid vastused olid negatiivsed.

Järgmises peatükis analüüsitakse võimalike konstruktsioonilisi lahendusi ning esitatakse nõuded projekteeritavale masinale.

2.6. Projekteeriava masina nõuded.

Projekteeritava kallurhaagisele esitatavad nõuded:

- 10 t kandevõimega;
- hübriidlahendusena tagaluuk, mis on omanäoline hetkel turul pakutavatest;
- kulumiskindlast terasest (hardox) põhi ja küljed;
- hüdraulilised pidurid mõlemal teljel;
- välja toodud tehnonõuded jaotisest 1.1;
- kallutusnurk 55°;
- mahutavus *ca* 5,3 m³;
- koormakinnitusaasad veokasti sees;
- tandemtelg;
- ohutuskapid hüdroüsteemile.

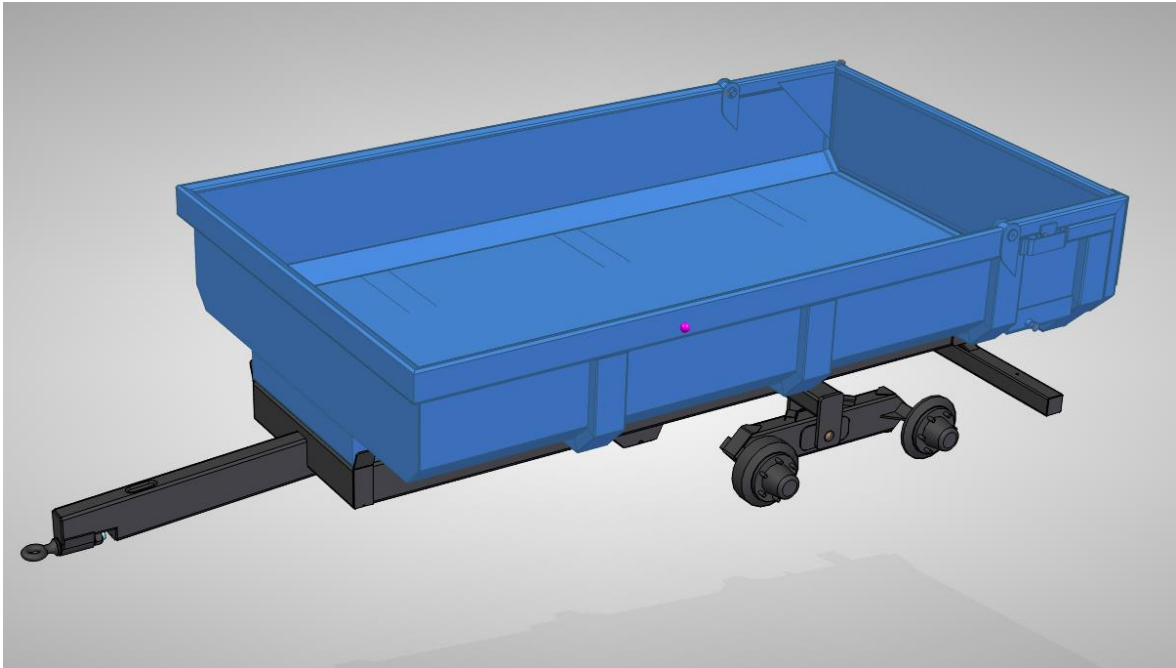
3. KONSTRUKTSIOONI ARVUTUSED

3.1. Haagise raamitoru arvutus

Tugevusarvutused teostati kõige ohtlikemates sõlmedes.

Haagise raamitoru on põhiliseks kandvaks konstruktsiooniks, millele toetub kogu kast ning selles olev koorem. Järgnevalt tehti kallurhaagisest eskiismudel, et arvutada raami võimalikud toru mõõtmed (joonis 3.1.). Eskiismudelilt saadi järgmised olulised parameetrid raamitoru arvutamiseks:

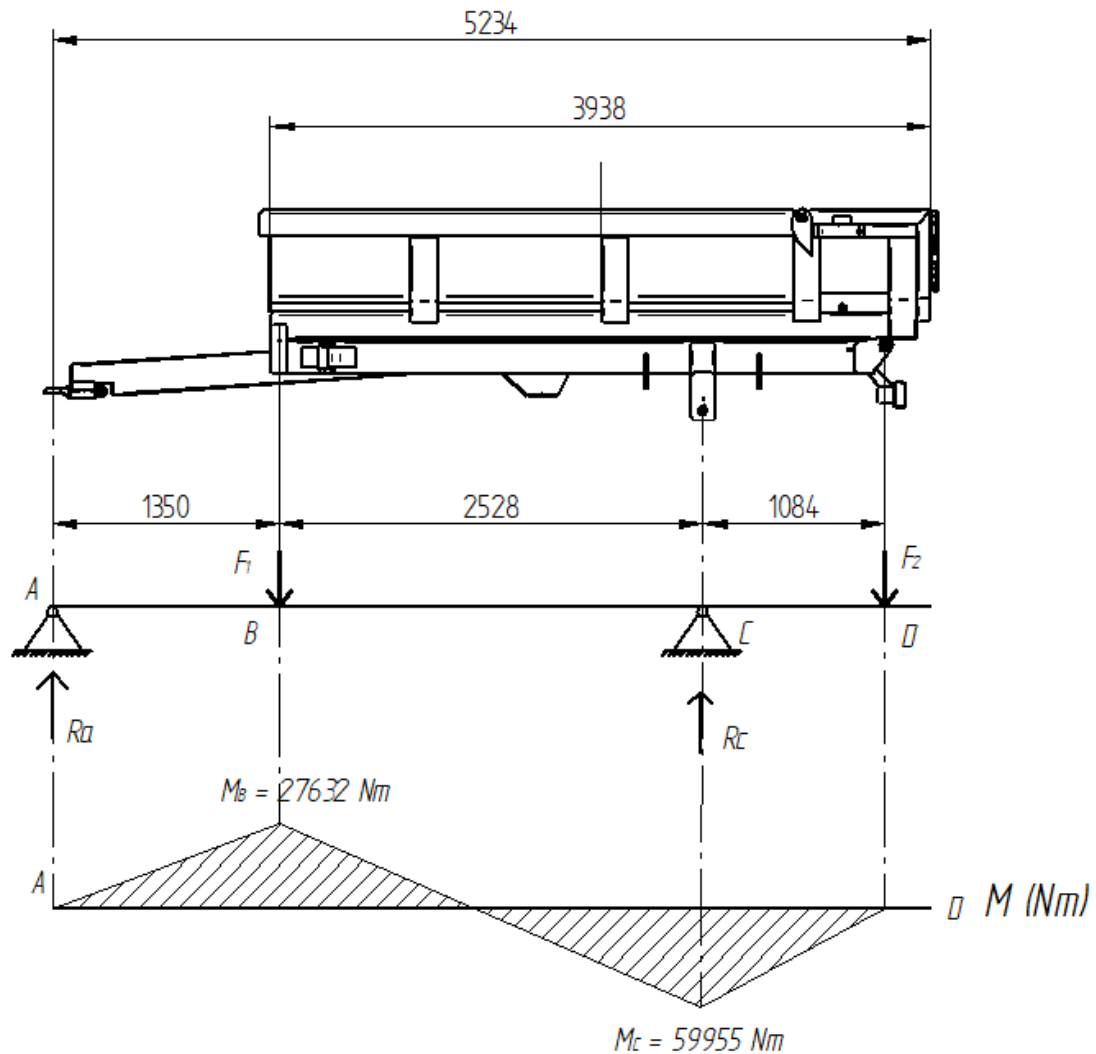
- 1) kandevõime, $m_1 = 10\,000\text{ kg}$;
- 2) kasti mass koos tagaluugiga, $m_2 = 1245\text{ kg}$.



Joonis 3.1. Kallurhaagise eskiismudel.

Seega raamitoru peab kandma kokku 11245 kg ehk 110313 N. Jõud kandub üle haagise kasti toetuspunktidest, mis on punktides B ja D (joonis 3.2), võrdselt kummagisse punkti – 55156,5 N.

Tugevusarvutuslike epüüride leidmiseks kasutati vabavaralist programmi Mdsolids ning epüüride visuaalseks esitamiseks kasutati joonestusprogrammi Solid Edge. Paindemomendiepüür on esitatud joonisel 3.2.



Joonis 3.2. Arvutuse skeem, kus – F_1 ja F_2 on koondatud jõud; R_a , R_b on toereaktsioonid.

Epüüril on näha, et suurim paindemoment on punktis C (59955 Nm).

Toereaktsioonid on järgmised:

$R_a = 20468 \text{ N}$ (koormus haakeseadmele 2086 kg);

$R_c = 89844 \text{ N}$ (teljekoormus 4580 kg ja koormus ühele rattale 2290 kg).

Enne kui hakatakse arvutama vastupanumomenti, tuleb määrata varutegur, millega kõik järgnevad tugevusarvutused teostatakse. Varutegur näitab, mitu korda võiks konstruktsioonile mõjuv tegelik koormus suurened, enne kui tekib piirseisund [3]. Varutegur sõltub:

- 1) kus projekteeritavat konstruktsiooni kasutatakse (kas konstruktsioon on seotud lähedalt inimtegevusega või mitte);
- 2) kasutatavatest materjalidest (tuntud materjal – nt konstruktsiooniteras; vähemtuntud materjal);
- 3) arvutuse kvaliteedist [3].

Kuna kallurhaagist kasutavad inimesed ning haagis on ka osa liiklusest, siis autor valib varuteguriks 2; kuigi kasutatakse hästituntud konstruktsioonimaterjali teras S355. Seega lubatav pinge arvutatakse järgnevalt:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{lim}}{[S]} \quad (3.1)$$

,kus $[\sigma]$ on lubatav pinge, MPa;s

σ_{lim} on materjali piirpinge (voolavuspiir), MPa;

$[S]$ on varutegur – 2.

$$[\sigma] = \frac{355}{2} = 177,5 \text{ MPa}$$

Vastupanumoment arvutatakse järgneva valemiga:

$$W_x = \frac{M_C}{[\sigma]} \quad (3.2)$$

,kus W_x on vastupanumoment x telje suhtes, cm^3 ;

M_C on suurim paindemoment, Nm.

$$W_x = \frac{59955}{177,5} = 337,7 \text{ cm}^3$$

Kuna kandvaid raamitorusid on kaks, siis tuleb saadud tulemus jagada 2-ga. Tuleb valida toru, mille vastupanumoment x telje suhtes on vähemalt 169 cm^3 . Kataloogist valitakse toru $200 \times 100 \times 6$, mille W_x on 170 cm^3 .

Veoaasa kinnituspunktist kuni 1350 mm 'ni on kandvaid torusid 1 (tiisli toru), kus maksimaalne paindemoment on $27\,632 \text{ Nm}$. Järgnevalt kontrollitakse kas toru $200 \times 100 \times 6$ on piisav selleks, või tuleb lisada tugevdusi.

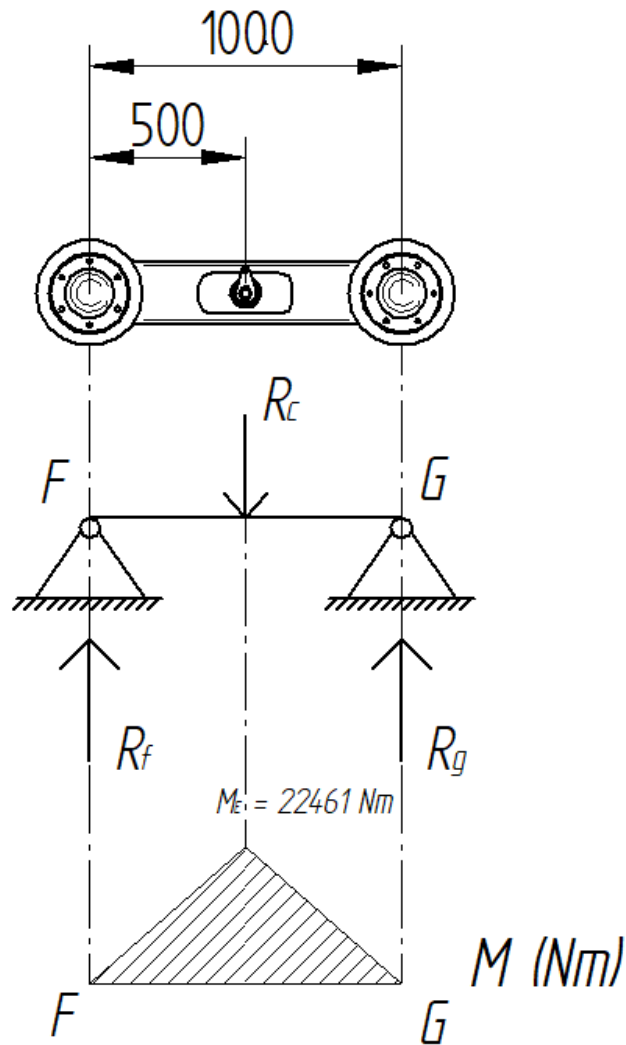
$$W_x = \frac{27632}{177,5} = 155,67 \text{ cm}^3$$

Tiisli toruks piisab samuti toru $200 \times 100 \times 6$. Järgnevas jaotises arvutatakse vajalik toru balansiiiridele.

3.2. Balansiiri toru arvutus

Enamasti on traktori järelhaagiste teljed lahendatud balansiiiride ehk tandemtelgedega, mis võimaldavad traktori taga veetaval järelhaagisel sujuvamalt liikuda, ületades selliselt võimalike maastike kumerusi ning metsas ka puude juurikaid. Balansiiride ehitus koosneb enamasti torust, teraspuksist, mille sisse on istatud pronkspuks (vahel ka laager) ning rummudest. Rummud võivad olla nii piduriga kui ka pidurita.

Järgnevalt arvutatakse sobilik toru balansiiiride jaoks. Joonisel 3.3 on toodud tugevusarvutuse skeem ning paindemomendiepüür.



Joonis 3.3. Arvutuse skeem, kus R_c on haagise poolt mõjuv jõud; R_f ja R_g on toeraktsioonid.

Toeraktsioonid R_f ja R_g on 44922 N.

Vastupanumoment arvutatakse valemiga 3.2.

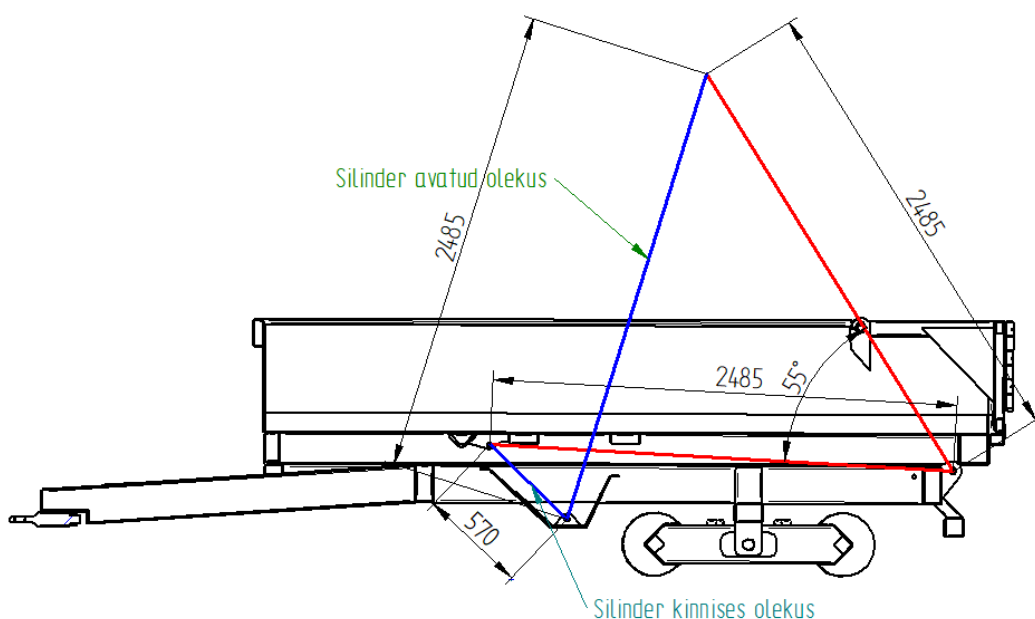
$$W_x = \frac{22461}{177,5} = 126,5 \text{ cm}^3$$

Kataloogist valitakse toru 200x100x5, mille vastupanumoment W_x on 146 cm³.

3.3. Tõstesilindri arvutus

Tõstesilindri valik ja selle asukoha määramine on oluline, kuna sellest sõltub kui palju projekteeritav kast hakkab kallutama, mis on üks oluline müügiartikkel. Tõstesilindri asukoha määramisel tuleb arvesse võtta järgmist – mida lähemal on tõstesilindri ülemine kinnitus kallutusteljele, seda suurema läbimõõduga hüdrosilindrit on vaja, ning mida kaugemal on kinnitus kallutusteljest, seda pikema käiguga silindrit on vaja.

Üks levinumaid hüdrosilindrite tootjaid Euroopas on Nurmi, kelle tootevalikus on mitmeid erinevaid teleskoopsilindreid, mis erinevad käigupikkuse, astmete arvu ning võimsuse poolest [8]. Antud haagise puhul on hea kasutada teleskoopsilindrit, kuna see võimaldab hüdroüsteemis sujuvamat liikumist, mille tekitavad erimahulised astmed.

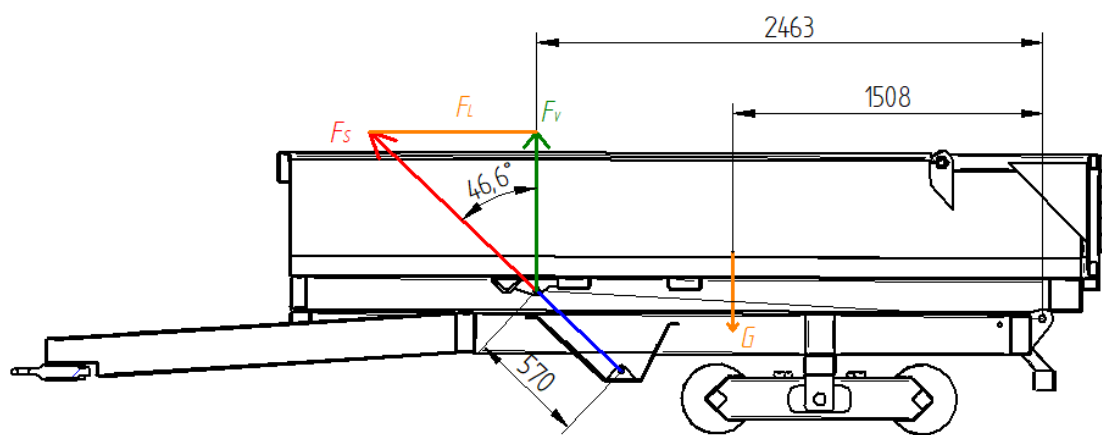


Joonis 3.4. Tõstesilindri asukoha määramine sõltuvalt kallutusnurgast (55°).

Kallurhaagise kallutusnurk on 55° ning sellega määrati kindlaks, et kõige optimaalsem oleks kasutada kuueastmelist Nurmi teleskoopsilindrit, mille pikkus avatud olekus on 2485 mm. Ehkki silindri suletud oleku pikkus tehase andmete järgi on 560 mm, siis arvestatakse paigaldusmõõduks 10 mm, kuna keevitustolerantsi ISO 13920-BF järgi on lubatud teatavad hälbed. Liiga täpse mõõdu tõttu võib hilisemal kasti monteerimisel tekkida

olukord, kus kast koos koormaga toetub silindri varre peale, koormates selliselt silindrit ning vähendades selle eluiga.

Sellega on määratud silindri asukoht raamil. Nurmi pakub kolme eritüüpi kuueastmelist teleskoopsilindrit, mis erinevad üksteisest kolvi läbimõõdu poolest - NA6; NAS6; NAT6. Järgnevalt arvutatakse vajaliku kolvi läbimõõduga (*Bore diameter*) silinder. Tõstesilindri arvutuse skeem on näidatud joonisel 3.5.



Joonis 3.5. Tõstesilindri arvutamise skeem, kus F_s – Silindri poolt tekitatav jõud, G – kasti omakaalu ja kandevõime poolt tekitatud moment silindrile, F_v – silindri poolt tekitatav vertikaalsihiline jõud, F_L – silindri poolt tekitatav horisontaalsihiline jõud.

Esmalt arvutatakse moment, mis tekitatakse kasti omakaalu ja koorma poolt silindrile

$$G = l_1 \cdot (m_1 + m_2) \cdot a \quad (3.3)$$

,kus G on kasti massi ja kandevõime poolt tekitatud moment silindrile, Nm;

m_1 on kandevõime, kg;

m_2 on kasti omamass, kg;

a on raskuskiirendus m/s^2 ;

l_1 on kallutustelje kaugus massikeskmeni, m.

$$G = 1,508 \cdot (10000 + 1245) \cdot 9,81 = 166573,31 \text{ Nm}$$

Jõud, mis tuleb ületada silindril kasti ja koorma tõstmiseks on arvutatud järgmiselt:

$$F_V = \frac{G}{l_2} \quad (3.4)$$

,kus F_V on jõud kasti ja veose tõstmiseks, N;

l_2 on jõuõlg kallutusteljeni, m.

$$F_V = \frac{166573,31}{2,463} = 67630,25 \text{ N}$$

Kuna silinder pole oma ideaalses asendis, mis oleks risti kallutustelje õlaga, siis tuleb arvestada survenurka ning arvutada jõud, mida on vaja kasti kallutamiseks. Survenurga väärtus saadakse graafikult.

$$F_S = \frac{67630,25}{\cos 46,6^\circ} = 98430,33 \text{ N}$$

$$F_L = 71397,3 \text{ N.}$$

Kui arvestada hüdroüsteemi tööõhuks 16 MPa, siis järgnevalt arvutatakse vajalik silindri kolvi diameeter (*bore diameter*).

$$p = \frac{F_S}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \quad (3.5)$$

,kus p on tööõhk, N/mm²;

d on kolvi diameeter.

$$16 = \frac{98430,33}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}$$

$$d \geq 88,5 \text{ mm}$$

Nurmi kuue astmelistest tõstesilindritest valitakse NAS6, mille tehnilised näitajad on esitatud tabelis 3.1.

Tabel 3.1. NAS6 tehnilised näitajad [8]

Mudel	Välisläbimõõt, \emptyset	Käik, mm	Õlimaht, l	Silindri pikkus, mm	Kolvi läbimõõt, mm	Max töörõhk, bar
NAS6	142	1925	14,2	560	132	210

Kuna hüdraulika töörõhk sõltub traktori pumbast, siis arvutatakse minimaalne rõhk, kus tõstesilinder ületab vajaliku jõu kasti kallutamiseks.

$$p = \frac{98430,33}{\frac{\pi \cdot 132^2}{4}} = 71,92 \text{ MPa}$$

Järgnevalt arvutatakse vajalik kastiraami toru, mis suudab vastu pidada antud tõstesilindri survele.

3.4. Kasti toruraami arvutus

Kuna tõstesilinder lükkab haagise kasti teatava jõuga, siis järgnevalt arvutatakse vastupanumoment ja valitakse toru, mis seda koormust suudaks taluda.

Esmalt tuleb arvutada, kuidas mõjub kastile jaotatud jõud (täiskoormus – 10 t).

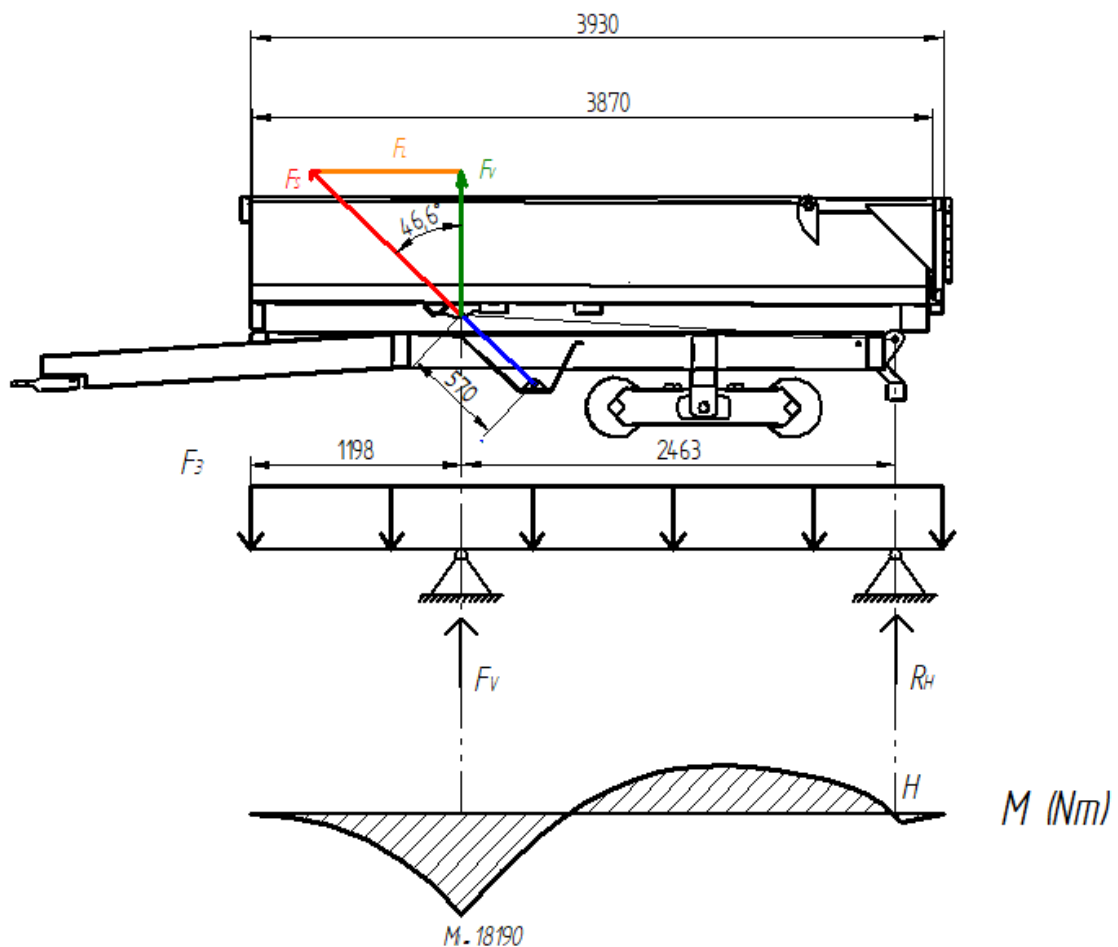
$$F_3 = \frac{m_1 \cdot a}{0,387} \quad (3.6)$$

,kus F_3 on jaotatud jõud, N/m;

m_l on kandevõime, kg.

$$F_3 = \frac{10000 \cdot 9,81}{3,87} = 25\,348,8 \text{ N/m}$$

Joonisel 3.6 on toodud arvutuse skeem ja paindemomendi epüür.



Joonis 3.6. Arvutuse skeem, kus – F_3 on jaotatud jõud (N/m); F_v on tõstesilindri poolt tekitatud jõud; R_H on toereaktsioon.

Epüürlilt on näha, et maksimaalne moment on punktis I = 18190 Nm.

Toereaktsioonid $R_H = 31023 \text{ N}$; $F_v = 68450 \text{ N}$. Kuna toereaktsioon on ligilähedane eelnevalt arvutatud vertikaalsihilise silindri jõuga ($F_v = 67630 \text{ N}$), siis võib arvata, et

arvutused on õigesti teostatud. Väike numbriline kõikumine võib tuleneda komakohtade ümardamisest.

Vastupanumoment arvutatakse valemiga 3.2

$$W_x = \frac{18190}{177,5} = 102,4 \text{ cm}^3$$

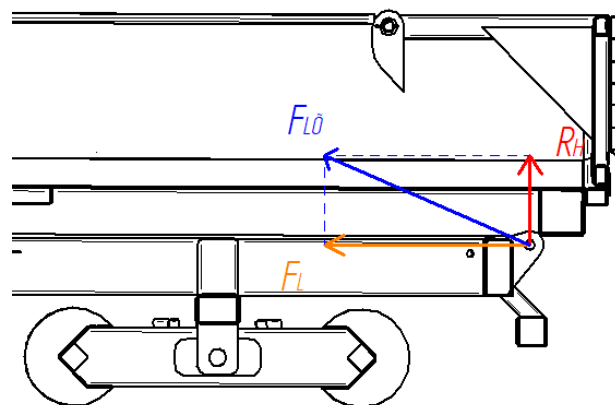
Kuna kastiraamil on kaks kandvat tala, siis saadud tulemus jagatakse 2-ga – 51,23 cm³.

Kataloogist valitakse toru 160x80x4, mille vastupanumoment W_x on 74,7 cm³.

Järgnevalt arvutatakse vajalik kallutustelje sõrme läbimõõt.

3.5. Kallutustelje arvutus lõikele

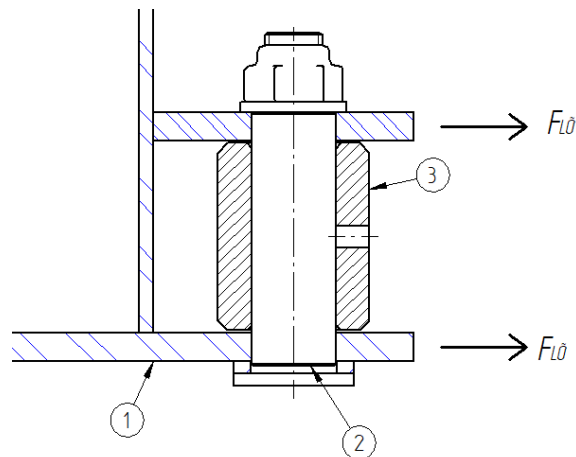
Järgnevalt arvutatakse vajaliku diameetriga kallutustelg. Kuna selles olukorras on paindemoment praktiliselt olematu, tuleb arvutada völli lõikele. Arvutuse skeem on esitatud joonisel 3.7.



Joonis 3.7. Kallutustelje arvutus lõikele, kus F_L – Silindri poolt tekitatav lõikejõud; R_H – Toereaktsioon; F_{L0} – kallutusteljele mõjuv resultant lõikejõud.

Kasutades Solid Edge joonestuskeskonda ja kandes peale mõjuvad jõud (F_L ja R_H) mõõtkavas, saadakse vektorite liitmise teel resultant löikejõud, mis mõjub kallutusteljele,

$F_{L\bar{O}} = 77839,3$ N. Kuna koormus $F_{L\bar{O}}$ jaguneb 4 löikepinna vahel, siis jagatakse tulemus 4-ga – 19460 N.



Joonis 3.8. Kallutustelje arvutamine löikele, kus 1 – kallutustelje kõrv; 2 – kallutustelg; 3 – kallutustelje puks.

Vajalik kallutustelje diameeter on arvutatud valemiga

$$\tau = \frac{F_{L\bar{O}}}{A} \quad (3.7)$$

,kus $F_{L\bar{O}}$ on löikejõud, N;

τ on löikepinge, MPa.

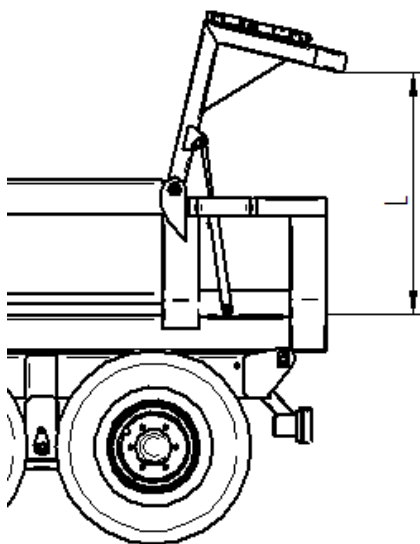
Lubatav nihkepinge $[\tau]$ on võrdeline eelnevalt arvutatud lubatud piirpingega (177,5 MPa).

$$d = \sqrt{\frac{F_{L\bar{O}} \cdot 4}{\tau \cdot \pi}} = 11,8 \text{ mm}$$

Vajalik völl peab olema vähemalt 12 mm läbimõõduga.

3.6. Projekteeritav tagaluuk

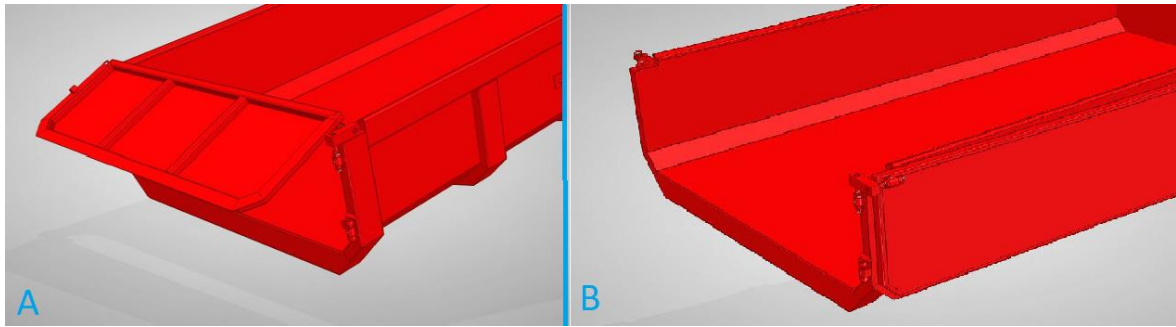
Tänapäeval valmistatud kallurhaagiste tagaluugid on enamasti – hüdrauliliselt või mehaaniliselt avanevad. Nii ühel kui ka teisel viisil on omad eelised ja puudused. Hüdrauliliselt avaneva tagaluugi puuduseks võib pidada seda, et veetavale seadmele või materjalile seatakse parameetrilised piirangud, mis tähendab seda, et näiteks ekskavaator, või mõni muu ehitusmasin, ei saa haagisele sõita (joonis 3.9). Selline olukord on tihtipeale vajalik, näiteks sõites objektile, on võimalik ära kasutada haagise kasti ruumi seadmete veoks ning hoides sellega kokku transpordikuludelt.



Joonis 3.9. Avatud hüdroluuk, kus L on tagaluugi ja haagise põranda vaheline pikkus.

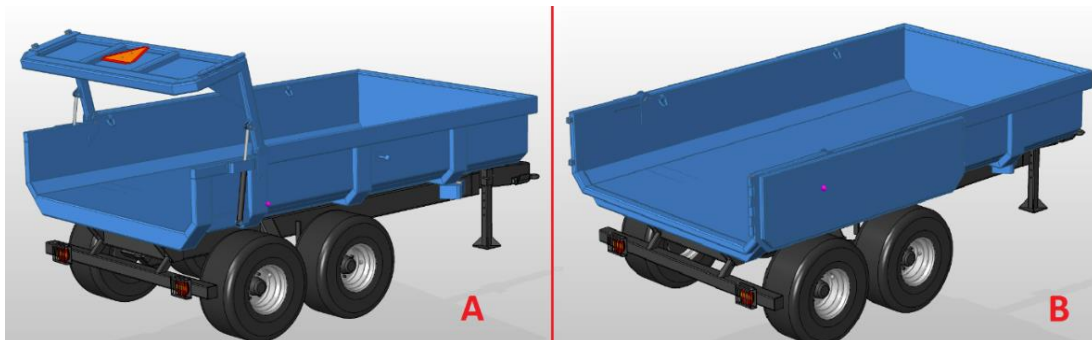
Teisest küljest on selle lahenduse eeliseks see, et tagaluuki on mugav ja ohutu opereerida juhi kabiinist.

Mehaanilised tagaluugid avanevad nii pendlina üles, kui ka uksena küljele, mis on funktsionaalsuse mõttes mitmekülgne, kuid turvalisuse seisukohalt ohtlik ja juhile ebamugavam opereerida (joonis 3.10.).



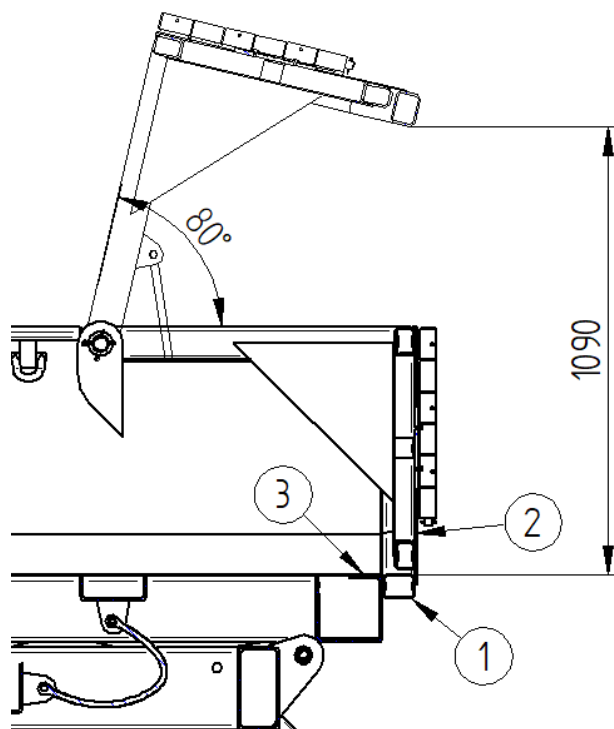
Joonis 3.10. Mehaaniliselt avatav tagaluuk, kus A – luugi liikumine pendlina üles-alla; B – luugi liikumine uksena küljelele.

Kahte lahendust ühendades, saadakse ideaalne kombinatsioon mugavuse ja funktsionaalsuse näol, kus tagaluuki on võimalik avada nii hüdraulilindriga üles, kui ka mehaaniliselt küljele (joonis 3.11.).

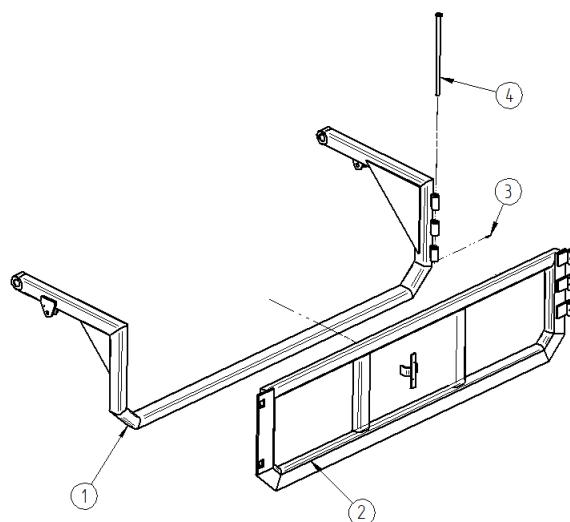


Joonis 3.11. Kahesuunaline luugi avanemine; A – hüdrauliliselt üles, B – mehaaniliselt küljele.

Tagaluugi põhikonstruktsioon ulatub üle haagise tagaosa, millega tagatakse, et raam ei toetu tagaluugi põrandale peale, vaid tekitab tasase ülemineku põrandale ja tagaluugi konstruktsiooni toruga (joonis 3.12). Hydropoweri tootevalikust valitakse standartne silinder, mille asendipikkus on 480 mm ja kolvi käik on 300 mm. Hüdraulilinder paigutatakse selliselt, et tagaluuk avaneks 80° [9]. Pikema silindri asetamiseks tekiks mahtuvuse probleem, kuna haagise sisekõrgus on 600 mm. Järgmises jaotises arvutatakse vajalik silindri võimsus ning vajalik konstruktsiooni toru, mis hüdraulilindrile vastu peab.



Joonis 3.12. Tagaluuk külgvaates, kus 1 – põhikonstruktsiooni raam; 2 – tagaukse konstruktsioon; 3 – haagise põrand.



Joonis 3.13. Tagaluugi konstruktsioon, kus 1 – aisadega põhikonstruktsioon; 2 – tagaukse konstruktsioon; – splint 4x28 DIN 94; 4 – hinge sõrm.

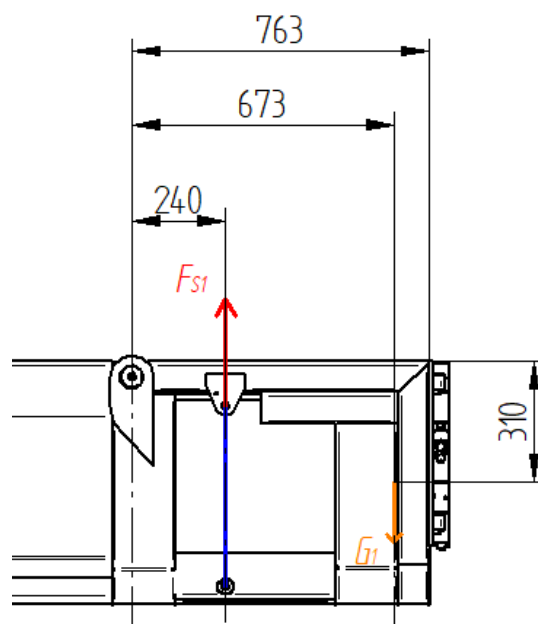
Tagaukse külge on keevitatud kolm hingepuksi, mis on määritavad. Tagauks kinnitatakse põhiraami (1) külge pika sõrmega (4), mis on fikseeritud splindiga (3). Põhiraami hingepuksid on keevitatud selliselt, et tagauks avaneks 270° vastu haagise külgsena.

Järgmises jaotises arvutatakse vajalik tagaluugi konstruktsiooni toru.

3.7. Tagaluugi silindri arvutus

Selleks, et luugi avanemine toimuks ühtlasemalt, on ette nähtud mõlemale poolele hüdrosilindrid. Kui eelmises jaotises oli juttu, et kõige optimaalsem on hüdrosilinder pikkusega 480 mm ja käiguga 300 mm. Siis selles jaotises arvutatakse, millise võimsusega hüdrosilinder tuleb valida, et tagaluuk avaneks.

Arvutuse skeem koos mõjuvate jõududega on esitatud joonisel 3.14.



Joonis 3.14. Tagaluugi hüdrosilindrite arvutus, kus F_{S1} – Silindri poolt tekitatav jõud; G_1 on tagaluugi poolt tekitatav moment.

Tagaluugi mass on 156 kg. Hüdrosilindrid on paigutatud oma ideaalsesse olekusse (kiirusevektoriga samasihiline), kus ei teki survenurka.

Esmalt arvutatakse moment, mis tekitab tagaluugi mass silindrile

$$G_1 = l_3 \cdot m_3 \cdot a \quad (3.8)$$

,kus G_1 on tagaluugi poolt tekitatav moment, Nm ;

m_3 on tagaluugi mass, kg;

a on raskuskiirendus m/s^2 ;

l_3 on pöördtelje kaugus massikeskmene, m.

$$G_1 = 0,673 \cdot 156 \cdot 9,81 = 1030 \text{ Nm}$$

Järgnevalt arvutatakse jõud, mis tuleb silindril ületada, et luuk avaneks:

$$F_{SI} = \frac{G_1}{l_4} \quad (3.9)$$

,kus F_{SI} on jõud tagaluugi tõstmiseks, N;

l_4 on jõuõlg pöördteljeni, m.

$$F_{SI} = \frac{1030}{0,24} = 4291,6 \text{ N}$$

Kuna töötavad kaks silindrit, siis saadud tulemus jagatakse kahega – 2145 N.

Arvestades hüdroüsteemi töö rõhuga 160 bar, arvutatakse vajalik silindri kolvi läbimõõt valemiga 3.5.

$$p = \frac{F_{SI}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}$$

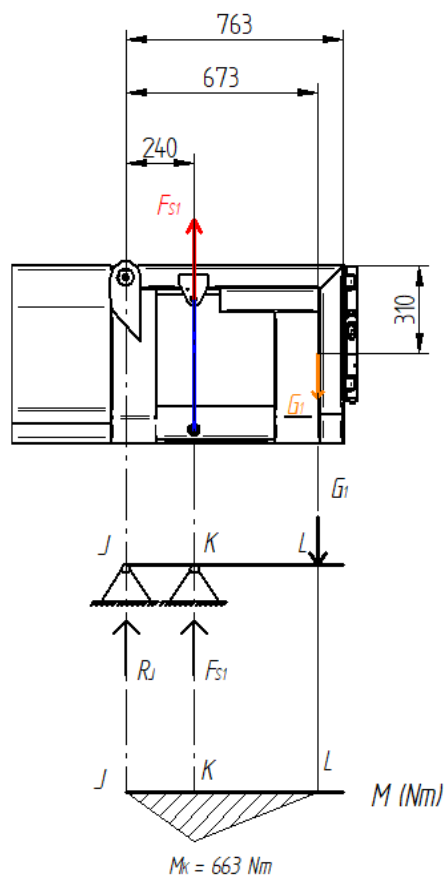
$$d \geq 13 \text{ mm}$$

Tulemuseks saadi, et vajalik on vähemalt 13 mm kolvi läbimõõduga silinder. Valitakse MLC40 seeria hüdrosilindrid – MCL40.20.300 GE, mille kolvi läbimõõt on 40 mm.

Valides tunduvalt suurema kolvi läbimõõduga hüdrosilindri, tähendab see seda et silinder töötab väiksemate rõhkudega.

3.8. Tagaluugi toru arvutus

Järgnevalt arvutatakse vajalik toru, mis peab vastu hüdrosilindrite survele. Alloleval joonisel on toodud arvutuse skeem, kuhu peale on kantud mõjuvad jõud.



Joonis 3.15. Tagaluugi toru arvutuseskeem, R_J on toereaktsioon, F_{S1} on tagaluugi silindri poolt tekitatav jõud.

Toereaktsioonid on $R_J = 2760 \text{ N}$; $F_{S1} = 4290 \text{ N}$. Kuna tulemus (F_{S1}) on sama, nagu eelnevalt arvutatud jõud silindri poolt ($4291,6 \text{ N}$), siis võib usaldada arvutuse õigsust.

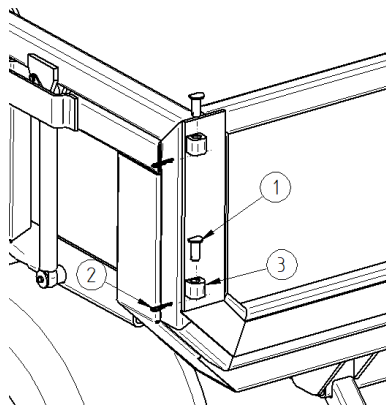
Maksimaalne moment on punktis K = 663 Nm. Vastupanumoment arvutatakse valemiga 3.2.

$$W_x = \frac{663}{177,5} = 3,7 \text{ cm}^3$$

Kuna vastupanumoment on äärmiselt väike, siis valitakse toru konstruktiivselt (võttes arvesse sobivust haagise ülaprofiiliga) – toru 80x60x4.

3.9. Tagaluugi lukustamine

Kui ülesse avanevat suunda hoiavad edukalt kinni hüdrosilindrid, siis mehaanilise luugi kinnitamiseks on vajalik lukustus. Sellise tagaluugi lukustamiseks on aga mitmeid variante, mille projekteerimisel tuleks lähtuda seadme ohutusest ning levinud tehnilisest lahendusest. Kuna tegemist on prototüübiga, siis valmistamise seisukohalt valitakse võimalikult odav ja lihsalt valmistatav lahendus – lukustamine standardse sõrmega (joonis 3.16).



Joonis 3.16. Sõrmega lukustamine, kus 1 – Sõrm ISO 2341 – B – 20 x 40 St; 2 – Vedrulõhis 3 DIN 11024; 3 – puks.

Lukustamiseks kasutatakse kahte standardset sõrme (1), mis käivad läbi raami külge keevitatud puksi (3) ning sõrme fikseerimiseks on kasutatud vedrulõhist (2).

4. HÜDROSÜSTEEM

4.1. Tõstesilindri maksimaalse vooluhulga arvutus

Nurmi teleskoopsilindri NAS 6-1 kasutatakse *Kastas* kolvi- ja varretihendeid, mille tootjapoolne maksimaalne lubatud kiirus v_s on 0,5 m/s. Kui silinder peaks liikuma kiiremini, kahjustab see tihendeid ning lühendab selliselt silindri eluiga.

Järgnevalt arvutatakse maksimaalne vooluhulk, mis läbib sellisel kiirusel (0,4 m/s) silindrit.

$$Q_I = A_I \cdot v_s \quad (4.1)$$

,kus Q_I on vooluhulk, l/min;

A_I on ristlõike, milles vedelik voolab, mm;

v_s on tihenditele omistatud maksimaalne lubatud kiirus, m/s.

Kuna tegemist on kuueastmelise teleskoopsilindriga, siis tehakse arvutused kõige viimase astme silindri ristlõike kohta. Seda põhjusel, et iga astme kiirus on erinev ja viimane (väikseim) aste täitub kõige kiiremini.

Silindri ristlõike pindala on leitud valemiga 4.2.

$$A_I = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \quad (4.2)$$

,kus D_2 on silindri väikseima astme diameeter.

$$A_I = \frac{0,065^2 \cdot \pi}{4} = 0,003328 \text{ m}^2$$

Järgnevalt leitakse maksimaalne vooluhulk, mis võib seda tõstesilindrit läbida, valemiga 4.1.

$$Q_I = 0,003328 \cdot 0,4 = 0,001331 \text{ m}^3/\text{s} = 80 \text{ l/min}$$

Teleskoopsilinder NAS 6 mahutab 14,2 l. Nüüd arvutatakse keskmine aeg (t_{mid}) , mil toimuks kallutamine, kui vooluhulk oleks 99,5 l/min.

$$t_{\text{mid}} = \frac{14,2}{99,5} = 8,56 \text{ s}$$

Kui traktori pumba tootlikkus oleks 99,5 l/min, siis kallutamine toimuks ligikaudu 8,56 sekundiga, mis on mõnedes tööstustes (nt. kaevandustes) oluliseks numbriks. Kuid kindlasti ei tohiks traktori pumba tootlikkus ületada 99,5 l/min, mis võib osutuda saatuslikuks tõstesilindrile (tihenditele). Kui traktori pumba tootlikkus ületaks 99,5 l/min, siis on võimalik kasutada vooluhulga reguleerimiseks drosselit.

4.1.1. Tõstesilindri vooliku valik

Selles jaotises valitakse vajalik voolik tõstesilindrile.

Maksimaalseks vedeliku voolukiiruseks survetorustikes kuni 200 bar (maksimaalne lubatud rõhk tõstesilindrile on 210 bar) juures on 5,5 m/s [11]. Arvutuslikult arvutatakse vooliku läbimõõt järgmiselt:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi \cdot v}} \quad (4.3)$$

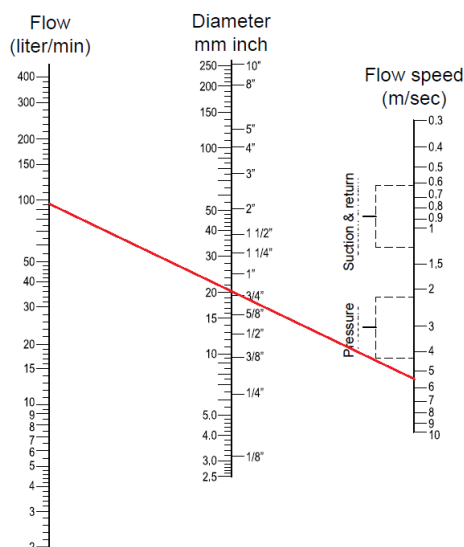
,kus d on vooliku läbimõõt, mm;

q on vooluhulk, l/min;

v on voolukiirus survetorustikes – 5,5 m/s .

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 99,5}{\pi \cdot 5,5}} = 0,01959 \text{ m} = 19,59 \text{ mm}$$

Kasutades Hydroscandia kataloogist vooliku mõõtmestamise skaalat, valitakse vajalik voolik (joonis 4.1).

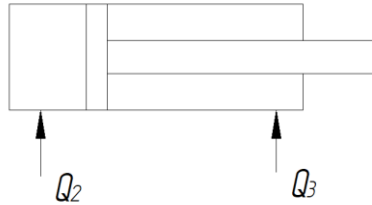


Joonis 4.1. Vooliku mõõtmestamise skaala, kus vasakpoolne skaala - vooluhulk (l/min); parempoolne skaala voolukiirus (m/s); keskmine skaala – vooliku siseläbimõõt (mm).

Skaalalt selgub, et vajalik tõstesilindri vooliku siseläbimõõt on 20 mm, ehk $\frac{3}{4}$ tolli. Arvutuslik ja skaalalt saadud tulemus on põhimõtteliselt samad. Kataloogist valitakse hüdrovoolik Kappaflex 2K CO ROCK (Hydroscandia *part number* 1105-63-12), mille maksimaalne töö rõhk on 280 bar. Tegemist on hüdrovoolikuga, mis on mõeldud kasutamaks suurte rõhkude ja suure hõõrdumise juures [12].

4.2. Tagaluugi silindrite maksimaalse vooluhulga arvutus

Järgnevalt arvutatakse tagaluugi silindrite maksimaalsed vooluhulgad ja kolvi liikumise kiirused. Vooluhulk silindrisse sisenemisel on suurem kui väljumisel, kuna silindri väljumisel peab arvestama ka kolvivarre pindalaga (joonis 4.2).



Joonis 4.2. Kahesuunalise toimega hüdrosilinder.

Esimesena arvutatakse maksimaalne vooluhulk silindrisse sissemineval suunal.

$$A_2 = \frac{0,0032^2 \cdot \pi}{4} = 0,000804 \text{ m}^2$$

$$Q_2 = 0,000804 \cdot 0,5 = 0,000402 \text{ m}^3/\text{s} = 24 \text{ l/min}$$

Nüüd arvutatakse maksimaalne vooluhulk silindrist väljuval poolel:

$$A_3 = \frac{(0,032^2 - 0,02^2) \cdot \pi}{4} = 0,00049 \text{ m}^2$$

$$Q_3 = 0,00049 \cdot 0,5 = 0,000245 \text{ m}^3/\text{s} = 14,7 \text{ l/min}$$

Järgmisena leitakse ruumala, palju mahub vedelikku silindrisse avanemisel (V_1) ja sulgumisel (V_2):

$$V_1 = 0,000804 \cdot 0,3 = 0,0002417 \text{ m}^3 = 0,2417 \text{ l}$$

$$V_2 = 0,00049 \cdot 0,3 = 0,000147 \text{ m}^3 = 0,147 \text{ l}$$

Järgnevalt on leitud aeg, kui kiiresti hüdrosilinder avaneb (t_1) ja sulgub (t_2):

$$t_1 = \frac{0,0002417}{0,000402} = 0,6 \text{ s}$$

$$t_2 = \frac{0,000147}{0,000245} = 0,6 \text{ s}$$

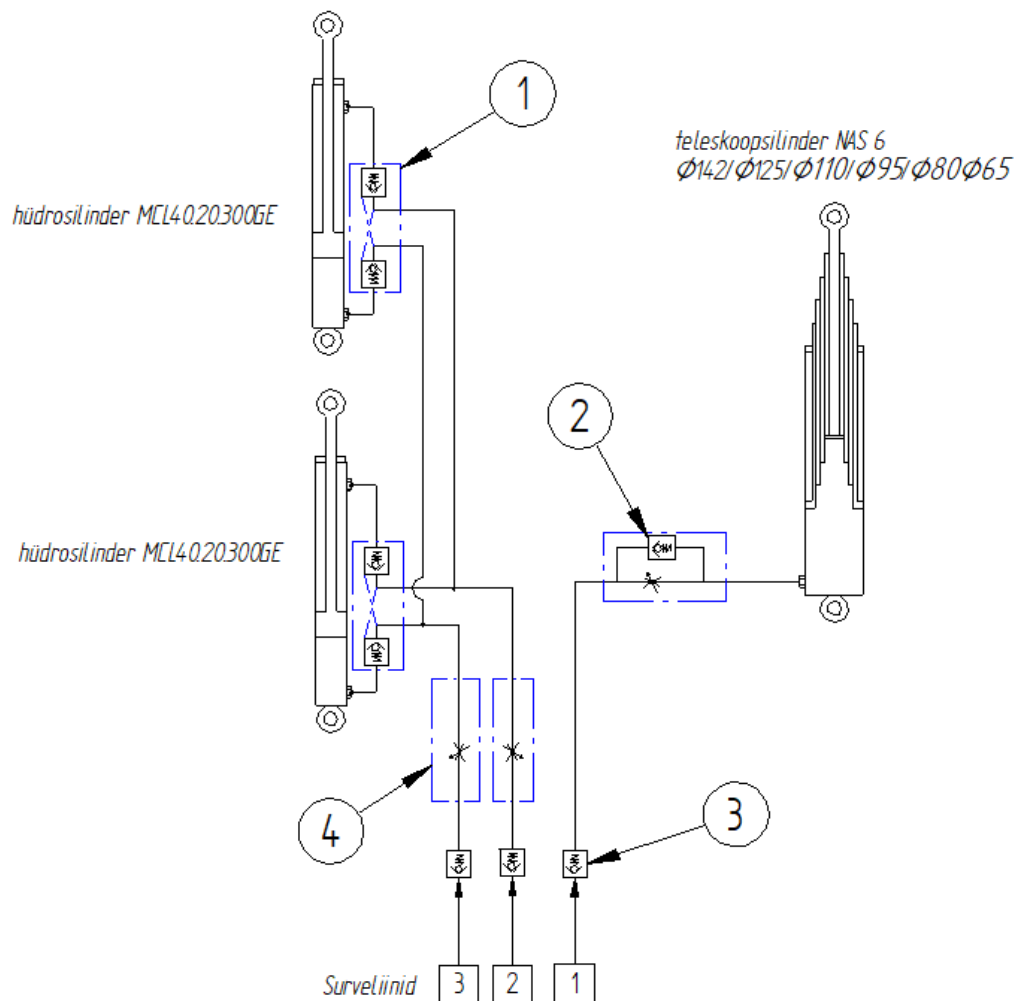
Kui ühte silindrisse sisenemisel on vooluhulk 24 l/min, siis kahte silindrisse sisenemisel on vooluhulk kaks korda suurem – 48 l/min. Kuna antud hetkel on silindrite täitumine äärmiselt kiire (0,6 s), ning tuleb kasutada vooluhulga reguleerimiseks drosselit, siis valitakse voolik $\frac{1}{4}$ tolli enne silindreid ja enne kolmikut $\frac{3}{8}$ tolli voolik.

Kataloogist valitakse hüdrovoolikud $\frac{3}{8}$ tolli jaoks Kappaflex 2K CO ROCK (Hydroscandia *part number* 1105-63-06), mille maksimaalne töö rõhk on 385 bar; ning $\frac{1}{2}$ tolli jaoks Kappaflex 2K CO ROCK (Hydroscandia *part number* 1105-63-04), mille maksimaalne töö rõhk on 450 bar [12].

Järgmises jaotises on näidatud hüdro süsteemi diagramm ning töö lisades on toodud hüdro süsteemi skeem, koos kõigi hüdrokomponentidega, mis on valitud Hydroscandia kataloogist.

4.3. Hüdro süsteemi skeem

Hüdro süsteemi skeemil on näidatud kõik hüdro süsteemi kuuluvad komponendid ning nende ühendamise skeem (joonis 4.3).



Joonis 4.3. Hüdroskeem, kus 1 – kahesuunaline vastuklapp; 2 – drossel/vastuklapp; 3 – kiirliitmik; 4 – drossel.

Nagu eelnevas peatükis mainitud, kasutatakse survelehtides 3 ja 2 (joonis 4.3) drosseleid enne tagaluugi hüdrosilindreid, selleks et reguleerida vooluhulka ning tagaluugi avanemise kiirust. Samuti ohutuse eesmärgil on paigaldatud enne mõlemat hüdrosilindrit kahesuunalised vastuklapid. Kui näiteks puruneks surveleht 2 voolik, siis vastuklapp sulguks ehk õli eemaldamine silindrist peatub, ehk tagaluuk ei kuku suurel kiirusel kinni.

Samuti on ohutuse eesmärgil paigaldatud enne tõstesilindrit drossel/vastuklapp. Kui tõstesilindrisse suunal ei ole vooluhulk reguleeritav, siis silindrist väljavoolamisel on vooluhulk reguleeritav drosseliga. Kui näiteks peaks purunema surveleht 1 voolik, siis kogu kast ei kukuks suurel kiirusel kinni, vaid on vedeliku äravoolu võimalik reguleerida drosseliga.

5. HAAGISE OHUTUS

Ohutuse tagamiseks on kallurhaagis varustatud järgmiste lisaseadmetega:

(a) **aeglase sõiduki tunnusmärk** – vastavalt Eesti liicluseeskirjale, peab mootorsõidukil või autorongil, kes sõidab liicluses aeglasemalt kui 40 km/h, olema aeglase sõiduki tunnusmärk [13];

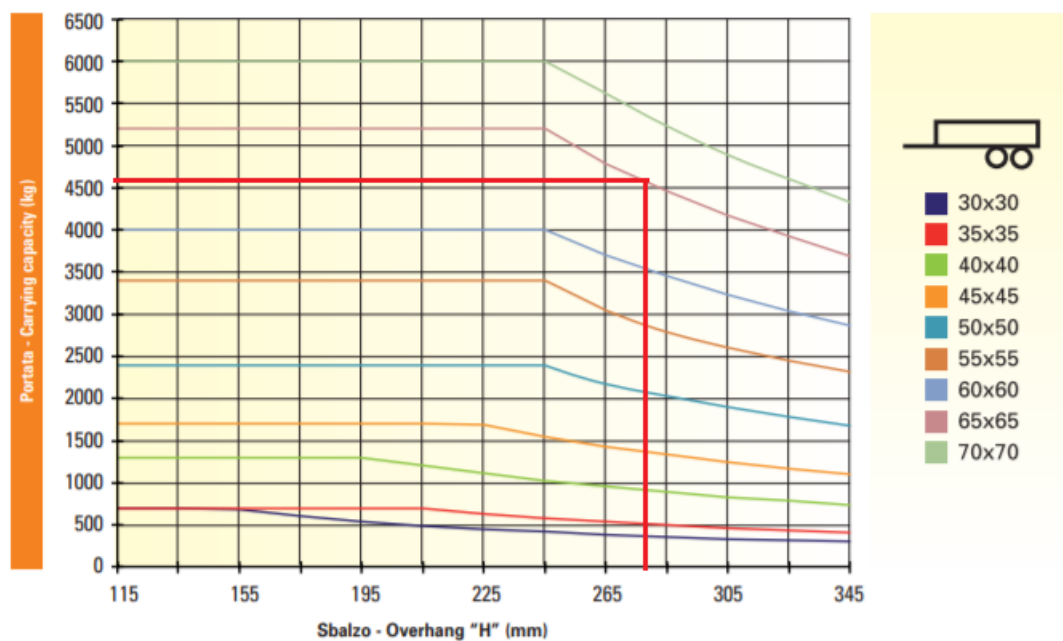
(b) **allasõidutõke** – ohutus kaasliiklejate tarbeks. Allasõidutõke ennetab väiksemate sõiduautode sõitmist haagise tagaosa alla;

(c) **julgestustross** – on mõeldud kasti ülekallutamise ennetamiseks. Julgestustross peab olema sellise pikkusega, et see rakenduks enne tõstesilindri täielikku avanemist;

(d) **tõkiskingad** – kohustuslikud haagise varustuse osa;

(e) **tagatuled ja helkurid** – haagis peab olema varustatud tagatuledega (suunatud, pidurituled) et olla nähtav kaasliiklejatele.

(f) **hüdraulilised pidurid** – Haagise mõlemale teljele on valitud hüdrauliliste piduritega rummud. Haagise teljekoormus on 4580 kg. Kuna rummud on ostutooted ja selliselt juhul ei ole mõistlik valida varutegurit (seda valides võetakse liigne risk), siis allolevalt jooniselt valitakse vajaliku ristlõikega rummud. Siinkohal on oluliseks parameetriks rummu veljekinnituse kaugus toru kinnituseni (H), mis on 266 mm.



Joonis 5.2. Rummu ristlõike valik [16].

Jooniselt selgub, et sobilik on rumm, mille ristlõige on 65x65 mm.

Pidurite skeem on esitatud lisas A.

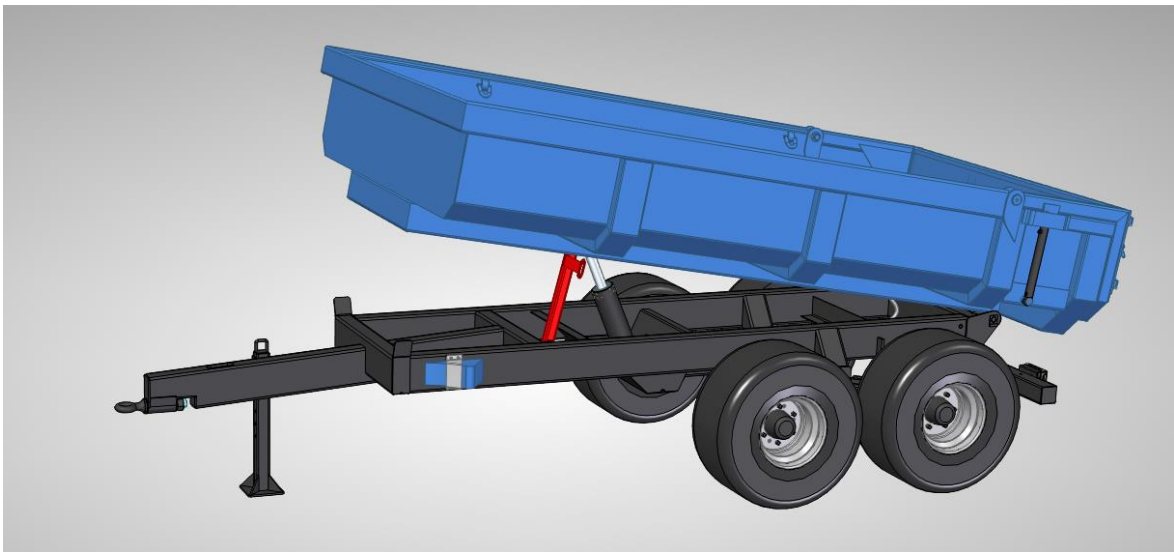
Kui tänasel päeval (2018 a.) ei ole Eesti maanteemetil nõuet traktorihaagise pidurite efektiivsusele, kuid näiteks Saksamaal on see nõue olemas (nõutud pidurite efektiivsus 35 %). Lähiaastatel on välja tulemas üldine Euroopa direktiiv, millega seatakse tehnonõuded põllu- ja metsamasinatele, mis on toodetud Euroopas (s.h pidurite efektiivsus). Sellest tulenevalt küsiti rummu tootjalt (*FAD Assali*) pidurite arvutus, mille tulemused on toodud lisas C. Pidurite arvutuse teostamiseks tuli tootjale saata järgmised parameetrid –

- 1) Täismass – 12345 kg;
- 2) Koormus haakeseadmele – 2080 kg;
- 3) Telgede koormus – 10 265 kg (täismass – koormus haakeseadmele);
- 4) Lubatud maksimaalne kiirus – 40 km/h;
- 5) Ratta tüüp – 400/60-15,5;
- 6) Piduri tüüp – 3009/l;

7) Vajalik piduri efektiivsus – 50 %.

Valitakse Starco SG Floatation rehvid mõõdus 400/60-15,5, mille kandevõime on 2900 kg. Rehvid on mõeldud põllumajandushaagistele ja tarvikutele ning maksimaalseks tootjapoolseks kiiruseks on 40 km/h, millega määratakse ära ka haagise maksimaalne lubatud kiirus.

(g) **Ohutustugi** – remonttööde jaoks haagise kasti all (voolikute vahetus), on ettenähtud ohutustugi (joonis 5.3). Ohutustoe pinnakate on punane, et paistaks silma.



Joonis 5.3. Ohutustugi remonttööde jaoks.

6. MAJANDUSLIKUD KULUD

Haagise komponentide hinnakiri ja musta metalli hind on toodud tabelis 6.1. Metalli hind on arvestusega 2018 a. mai.

Tabel 6.1. Haagise maksumus

Komponent	Kulu	Hind	Summa, €
Materjal, S355	1501 kg	0,7 €/kg	1050
Materjal, Hardox	543 kg	1,5 €/kg	814,5
Rattad 400/60/15,5	4 tk	156 €/tk	624
Hüdrosilinder 40/20-300	2 tk	85 €/tk	170
Aeglasesõiduki märk	1 tk	10 €/tk	10
Tõkiskingad	2 tk	15 €/tk	30
Veoaas	1 tk	67 €/tk	67
Tõstesilinder NAS6	1 tk	390 €/tk	390
Rummud piduritega	4 tk	120 €/tk	480
Rummud piduriteta	2 tk	54 €/tk	108
Pronkspuksid 65-60-70	2 tk	8 €/tk	16
LED tuled	2 tk	17 €/tk	34
Julgestustross d12	1 tk	29 €/tk	29
Hüdrovoolikud + komponendid			456
Pidurivoolikud + komponendid			155
Mutrid, poldid, seibid, lukustusrõngad jne			243
2 komponentne krunt + värv			300

Haagise hinnaks kujunes 7900 € + km.

KOKKUVÕTE

Antud magistritöö eesmärk oli projekteerida ja konstrueerida esimene Powersteel OÜ tootesarja kuuluv kallurhaagis. Magistritöö käigus toodi välja mitmete haagist puudutavate komponentide/konstruktsiooni-valikute lahendust ja põhjendati nende valikuid. Projekteeritud kalluraagise tehnilised näitajad on järgmised:

- 1) maht: $\sim 5,3 \text{ m}^3$;
- 2) täismass – 12345 kg;
- 3) kandevõime – 10 000 kg;
- 4) teljekoormus – 4580 kg;
- 5) koormus haakeseadmele – 2086 kg;
- 6) sisepikkus – 3850 mm, siselaius 2300 mm, sisekõrgus – 600 mm;
- 7) kallutusnurk - 55° ;
- 8) kahesuunaline hübriid tagaluuk;
- 9) maksimaalne lubatud kiirus – 40 km/h;
- 10) tõstesilinder NAS6, tagaluugi silindrid MCL40.20.300 GE (2tk);
- 11) pidurid 300x90G, rummu mõõt 70x70;
- 12) rattad 400/60-15,5;
- 13) maksimaalne lubatud hüdraulikasüsteemi töö rõhk – 200 bar;
- 14) maksimaalne lubatud hüdro süsteemi vooluhulk – 99,5 l/min

Turu-uuringust selgus, et projekteeritud hübriidlahendusena avanev tagaluuk (mehaaniliselt küljele ja hüdrauliliselt ülesse), on ainulaadne hetkel turul pakutavatest. Selline lahendus on ohutu juhile opereerida ning funktsionaalne materjali mahalaadimiseks ja ehitusseadmete pealelaadimiseks. Hind kujunes hetkel turul pakutavate haagistega võrreldes keskpäraseks.

Kallurhaagisele projekteeriti mitmeid inimesele ohtutust tagavaid lisavarustusi nagu: allasõidutõke, aeglasesõidumärk, tagatuled, helkurid, hüdraulilised pidurid, julgestustross, ohutustugi, tõkiskingad. Samuti lisati hüdro süsteemile vastuklappe ja drosseleid, et töö haagisega oleks ohutu inimesele. Projekteerimisel võeti arvesse Eesti seaduses kirjas olevaid tehnonõudeid ning toodi välja ka tootjapoolne pidurite arvutus.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Riigiteataja. (2003) Ratastraktori, liikurmasina ja nende haagiste tehnoseisundi kontrollimise eeskiri ning nende tehnoseisundile ja varustusele esitatavad nõuded. [veebileht] <https://www.riigiteataja.ee/akt/12746242> (15.05.2018)
2. Karjäär. (2018) Materjalide erikaalud. [veebileht] <http://karjaar.ee/kasulikku/> (15.05.2018)
3. Klauson, A., Metsaveer, J., Põdra, P., Raukas, U. (2017) Tugevusõpetus. Tallinna Tehnikaülikool. 618 lk.
4. Palmse Metall OÜ. (2018) [veebileht] <http://www.palmsetrailer.eu/et/machine-type/kallurhaagised> (15.05.2018)
5. Kiretec OÜ. (2018) [veebileht] <http://www.kiretec.ee/pollumajandustehnika/kire-haagised/kire-100/> (15.05.2018)
6. Paide masinatehas. (2018) [veebileht] <http://www.humus.ee/et/tooted/kallurhaagised-ehitussektorile/10ct-12> (15.05.2018)
7. AS Ferrel. (2018) [veebileht] <http://www.ferrel.ee/wp-content/uploads/2017/04/125-A-min.pdf> (15.05.2018)
8. Nurmi teleskoopsilindrid. (2018) [veebileht] <https://www.rm316.ru/upload/iblock/260/Nurmi%20Auto%20ywubnqbyxencqkuqhcmvvsiezc.pdf> (15.05.2018)
9. Hydropower OÜ. (2018) hüdroasilindrid. [veebileht] <http://www.hydropower.ee/kataloogid/hydrosilindrid.pdf> (15.05.2018)
10. Kastas tihendid. (2018) Kastas tihendi tehnoloogiad. [veebileht] <https://www.kastas.com/products-hydraulic-piston-rod-sealing-elements-k21> (15.05.2018)
11. Soots, R. (2001) Hüdraulika ja hüdroüsteemid. Tallinn. 120 lk.
12. Hydroscandia tootekataloog. (2016) [veebileht] <http://www.hydroscand.ee/kataloogid> (15.05.2018)
13. Riigiteataja. (2001) Liikluseeskiri. [veebileht] <https://www.riigiteataja.ee/akt/927101> (15.05.2018)
14. Soots, R. (2005) Hüdraulika ja hüdroüsteemid II osa. Tallinn. 56 lk.
15. Bohnenkamp OÜ. (2018) Rehvimustrid. [veebileht] <http://www.bohnenkamp.ee/info/tyres-tractor/tyre-protectors/> (15.05.2018)
16. FAD Assali kataloog. (2017)

DUMPER TRAILER PROJECT

Summary

The purpose of this Master thesis was to project and construct first dumper trailer for Powersteels own brand trailer. In this thesis, there was shown many component and construction selection/calculations solutions. Projected trailer technical data is next:

- 1) Volume $\sim 5,3 \text{ m}^3$;
- 2) Total weight – 12345 kg;
- 3) Carrying load – 10 000 kg;
- 4) Axle load – 4580 kg;
- 5) Hitch load – 2086 kg;
- 6) Internal length – 3850 mm, internal width – 2300 mm, internal height – 600 mm;
- 7) Dipping angle - 55° ;
- 8) Two-way hybrid tailgate;
- 9) Max allowed speed – 40 km/h;
- 10) Lifting cylinder NAS 6, tailgate cylinders MCL40.20.300 GE (2 pcs);
- 11) Brakes 300x90G, stub axle 70x70;
- 12) Wheels 400/60-15,5;
- 13) Max allowed hydraulic pressure – 210 bar;
- 14) Max allowed hydraulic flow rate – 99,5 l/min.

In the field search, it turns out that the projected hybrid two-way tailgate was unique solution at the market, as no-one was offering this solution (mechanically to the side, up with hydraulics). This solution is safe for the driver and good for unloading/loading the material/construction machine. The price of this trailer was average comparing to others.

There were projected many equipment for maintaining safety for the humans, like: underrun guard, slow-down sign, LED lightning, reflectors, hydraulic brakes, safety wire against over dipping, safety bar and wheel chocks. As well there were added many check and needle valves to the hydraulics to maintain safety. The technical requirements in Estonian law were considered while projecting this trailer. And also for thinking about the future the braking calculation were asked from the stub axle manufacturer.

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Kristjan Pihlo,

(sünnipäev pp/kuu/aa 19.02.1992)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Kallurhaagise projekt,

mille juhendaja PhD Aare Aan,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiiviDSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 23.05.2018

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)